

Elżbieta Piesowicz*, Izabela Irska*¹, Zbigniew Roślaniec*

Niekonwencjonalne układy z udziałem EPDM do zastosowań technicznych

Na podstawie kauczuku EPDM przygotowano mieszanki o zmiennej zawartości sadzy półaktywnej oraz zmiękczaczy: oleju parafinowego i chloroparafiny. Zbadano właściwości mechaniczne uzyskanych wulkanizatów: twardość, wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu. Układy o najkorzystniejszych właściwościach poddano przyspieszonym badaniom starzeniowym. Na podstawie pomiarów współczynnika strat dielektrycznych oraz przenikalności dielektrycznej względnej dokonano oceny badanych układów pod względem ich przydatności jako materiałów izolacyjnych w elementach konstrukcyjnych sieci trakcyjnych kolejowych i tramwajowych. Niekonwencjonalne zastosowanie polarnego plastyfikatora (chloroparafiny) do niepolarnego kauczuku (EPDM) wywołało jego dyfuzję na powierzchnię izolacji. Takie rozwiązanie zapewnia dodatkowe uszczelnienie pomiędzy izolacją gumową a prętem zawieszeniowym. Dyfundujący plastyfikator pełni funkcję dobrego odtwarzalnego zabezpieczenia przed działaniem czynników klimatycznych.

Słowa kluczowe: EPDM, izolatory, właściwości dielektryczne, procesy starzeniowe

Unconventional systems based on EPDM rubber for technical applications

Rubber compounds based on EPDM rubber with different content of carbon black and plasticizers: paraffin oil and chloroparaffin were obtained. Mechanical properties (hardness, tensile strength and elongation at break) of obtained vulcanizates were studied. The most promising systems were exposed to accelerated ageing tests. On the basis of dielectric loss and relative dielectric permittivity measurement tested systems were evaluated in the context of their use as insulating materials for railway and tram traction drive construction. Unconventional introduction of polar plasticizer (chloroparaffin) to the non-polar rubber (EPDM) induce its diffusion to the insulation surface. This provides additional sealing between insulation and suspension rod. Plasticizer diffusion is reproducible and act as good protection against the harmful effects of climate.

Key words: EPDM, insulators, dielectric properties, ageing processes

I. Wprowadzenie

Terpolimer etylenowo-propylenowo-dienowy (EPDM) jest syntetycznym kauczukiem zawierającym w składzie mery: etylenu, propylenu oraz nienasyconego dienu (np. 1,4 heksadienu (1,4-HD), etylidenonorborne (ENB), dicyklopentadienu (DCPD)). Obecnie dostępna jest na rynku szeroka gama kauczuków EPDM różniących się masą cząsteczkową, stosunkiem zawartości etylenu do propylenu oraz ilością i rodzajem dienu w łańcuchu terpolimeru [1, 2]. Kauczuki EPDM mogą być wulkanizowane za pomocą nadtlenuków, np. nadtlenu dikumylu. Dzięki obecności wiązań podwójnych możliwe jest również zastosowanie jako środka sieciującego siarki [1–3]. Odpowiednio przygotowane wulkanizaty EPDM dzięki obecności nasyconego głównego łańcucha etylenowo-propylenowego mogą wykazywać

doskonałe właściwości, takie jak: odporność na działanie ozonu, podwyższonej temperatury, niektórych substancji chemicznych i promieniowania UV [4]. Mają przy tym dobre właściwości wytrzymałościowe i elektryczne oraz zachowują dużą elastyczność nawet w niskiej temperaturze [5]. Kauczuki EPDM oferowane są w postaci olejowanej, można je zmiękczać bez znaczącego wpływu na parametry końcowego produktu [6]. Wszystkie te



Dr inż. Elżbieta Piesowicz w 1997 roku ukończyła studia na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. Zatrudniona jest na stanowisku adiunkta w Zakładzie Tworzyw Polimerowych Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Tytuł doktora nauk technicznych otrzymała w 2007 r. na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej. Specjalność – technologia polimerów.

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Inżynierii Materiałowej, Zakład Tworzyw Polimerowych, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

¹ Izabela.Irska@zut.edu.pl

właściwości czynią elastomery na podstawie EPDM atrakcyjnym materiałem dla przemysłu maszynowego, motoryzacyjnego, elektrycznego, budownictwa, a także do wytwarzania przedmiotów codziennego użytku [7].

Szeroki zakres zastosowań układów z EPDM sprawia, że wykonane z niego elementy są narażone podczas eksploatacji na różnego rodzaju oddziaływania związane z warunkami pracy: mechaniczne, termiczne, elektryczne (izolatory), a także na oddziaływania środowiska, takie jak opady atmosferyczne, promieniowanie słoneczne w zakresie podczerwieni i nadfioletu [8-10], agresywne środowisko czy zanieczyszczenie powietrza [9, 10]. Oddziaływanie jednego lub kilku czynników prowadzi do nieodwracalnych zmian w strukturze i właściwościach materiału zarówno w skali molekularnej, jak i makroskopowej. W wyniku postępujących procesów starzeniowych materiał ulega depolimeryzacji, traci właściwości mechaniczne, termiczne i izolacyjne [11]. Dobór odpowiednich substratów oraz sposobu sporządzenia mieszanki kauczukowej EPDM pozwala na uzyskanie materiału o pożądanym właściwościach eksploatacyjnych.

Obecnie wiele materiałów poliolefinowych wykorzystywanych jest w przemyśle elektrotechnicznym. Ze względu na dobre właściwości izolacyjne, niskie straty dielektryczne, łatwość produkcji i przetwórstwa wypierają one tradycyjne nieorganiczne materiały, takie jak szkło czy ceramika. Wymagania stawiane materiałom stosowanym w elektrotechnice to przede wszystkim dobre właściwości izolacyjne i ognioodporność [3, 5, 6]. Dzięki bardzo dobrym właściwościom elektrycznym EPDM jest materiałem stosowanym w produkcji przewodów i kabli przeznaczonych do niskiego i średniego napięcia (do 35 kV). Mimo dobrych właściwości izolacyjnych jest jednak palny. Ognioodporność EPDM można uzyskać w wyniku wprowadzenia do mieszanki składników przeciwpożarowych: fluorowcopochodnych lub wodorotlenków metali. Obecnie, głównie ze względów ekologicznych, w tym celu stosowane są substancje bezhalogenowe. Dobrą alternatywą dla substancji halogenowych jest wodorotlenek glinu (ATH). Jest tani, a podczas jego spalania nie wydzielają się substancje żrące i toksyczne [3, 6]. W swoich badaniach Canaund C i in. [6] dowiedli, że do uzyskania odpowiedniej ognioodporności EPDM konieczne jest wprowadzenie do mieszanki minimum 160 phr ATH. Najlepszą ognioodporność przy zachowaniu dobrych właściwości elektrycznych i mechanicznych uzyskano w przypadku mieszanek zawierających 170 phr ATH oraz 7,5 phr sadzy [6]. Nową obiecującą metodę otrzymywania ognioodpornych produktów EPDM do zastosowań w elektrotechnice zaproponował Du L. i wsp. [12]. Zespół ten w swoich badaniach wykorzystał do modyfikacji kauczuku otrzymany na drodze syntezy PDP (pentaerytrytol tetra(*o*-diaminobenzene phosphoramidate), materiał pęczniący pod wpływem ognia. Szczególnie dobre właściwości wykazuje mieszanka o zawartości 60 phr PDP i 20 phr sadzy. Jest ona niepalna, nietoksyczna i nie powoduje wydzielania dymu [12].

Bardzo wysokie wymagania stawia się materiałom elektroizolacyjnym stosowanym w elektrowniach jądrowych i okrętach podwodnych z napędem jądrowym [13]. Narażone są one na podwyższone tło promieniowania jonizującego (gamma) [11, 14, 15]. Rozwiązaniem wydłużającym czas pracy materiałów izolacyjnych z EPDM w takich warunkach jest dodatek do mieszanek montmorylonitu (MMT) modyfikowanego oktaedecyloaminą. Już 5 phr modyfikowanego napełniacza znacznie poprawia odporność materiału na niszczące działanie promieniowania gamma [14].

Wulkanizaty EPDM są często wykorzystywane jako materiały uszczelniające w różnych gałęziach przemysłu. Bardzo dobrym rozwiązaniem do tego rodzaju zastosowań może być wykorzystanie mieszanki samouszczelniającej [16]. Uzyskanie właściwości samouszczelniających jest możliwe poprzez wprowadzenie do EPDM wosków poliolefinowych i węglowodorów chloroparafinowych, które dyfundując z wnętrza mieszanki na jej powierzchnię powodują uszczelnienie połączenia. Utracona warstwa uszczelniająca (na skutek np. wytarcia) jest zdolna do odtworzenia się w stosunkowo krótkim czasie. Dodatkowo dyfundujące na powierzchnię substancje woskowe zapewniają jej hydrofobowość. Przeprowadzone badania potwierdzają dobre właściwości dielektryczne tego typu wulkanizatów [16].

W ostatnich latach prowadzone są intensywne badania nad opracowaniem i wdrożeniem wysokowydajnych ogniw paliwowych z membraną do wymiany protonów (PEMFC) [17, 18].

Komercjalizacja takich układów wymaga ich dopracowania. Szczególnie słabym punktem takich ogniw jest brak szczelności. Zgodnie z przyjętymi standardami układy takie muszą charakteryzować się niezawodnym działaniem przez przynajmniej 5000 h w szerokim zakresie temperatury [17]. Wstępne badania w warunkach symulujących środowisko pracy ogniwa ($t = 80^{\circ}\text{C}$; roztwór: 12 ppm H_2SO_4 i 1,8 ppm HF) potwierdziły przydatność EPDM do tego typu zastosowań. Analiza ATR-FTIR przeprowadzona po 35 tygodniach starzenia nie wykazała zmian w strukturze chemicznej materiału. Wyniki mikroindentacji i analizy DMA próbek poddanych starzeniu nieznacznie różniły się od wartości uzyskanych dla materiału wyjściowego [18].

Duże zainteresowanie naukowców i przemysłu budzą elastomery termoplastyczne (TPE) wytwarzane z mieszanin polimerów. W pewnym zakresie temperatury łączą one w sobie właściwości usieciowanych chemicznie kauczuków z łatwością przetwarzania i recyklingu termoplastów [19, 20]. Kauczuk EPDM wykazuje szczególną kompatybilność z polipropylenem (PP) i polietylenem (PE). Wulkanizaty termoplastyczne (TPV) wytwarzane są metodą dynamicznej wulkanizacji mieszaniny PP/EPDM lub PE/EPDM w stanie stopionym, w warunkach mieszania ścinającego. Właściwości TPV silnie zależą od rodzaju i udziału użytych składników, a także od obecności i typu modyfikatorów, takich jak napełniacze czy zmiękczacze. Na właściwości końcowe

go wyrobu ma też wpływ stopień i sposób jego usieciowania [19, 21].

W niniejszym artykule zaprezentowano niekonwencjonalne układy EPDM z udziałem polarnego plastyfikatora (chloroparafiny). W uzyskanych materiałach plastyfikator dyfunduje na powierzchnię kauczuku (EPDM), zapewniając dodatkowe uszczelnienie pomiędzy izolacją gumową a prętym zawieszonym. Dyfundujący plastyfikator dodatkowo pełni funkcję dobrego odtwarzalnego zabezpieczenia przed działaniem czynników klimatycznych. Tego typu materiały mogą znaleźć zastosowanie jako elementy konstrukcji wystawionych na działanie zmiennych warunków atmosferycznych, np. w izolatorach kolejowych i tramwajowych sieci trakcyjnych.

2. Część doświadczalna

2.1. Materiały

Przedmiotem badań były wulkanizaty kauczuku etylenowo-propylenowo-dienowego (EPDM) z udziałem merów etylenonorborenu (ENB) jako sekwencji dienowych. Do badań użyto EPDM o zawartości etylenu 52,2 ÷ 57,8% wag., etylenonorborenu 3,7 ÷ 4,9% wag., lepkości Mooneya 41 ÷ 51 w 125°C, o nazwie handlowej Keltan 512, firmy Lanxess. Wykonano 8 mieszanek na podstawie kauczuku EPDM, o zróżnicowanej zawartości sadzy półaktywnej, oleju parafinowego i chloroparafiny (zgodnie z Tabelą 1). Ponadto wszystkie mieszanki zawierały w stałej ilości: glicerynę, воск polietylenowy, stearynę, uwodniony tlenek glinu, tlenek antymonu(III) oraz napełniacze: kredę i krzemionkę. Jako przeciwutleniacz zastosowano 2,2,4-trimetylo-1,2-dihydrochinolinę (TMQ). W skład zespołu sieciującego wchodziła siarka oraz przyspieszacze wulkanizacji: MBTS (disiarczek 2-merkaptobenzotiazolu), TMTD (disiarczektetrametylotiuramu), ZDBC (dibutyloдитiokarbaminian cynku) i Tioheksam (N-cykloheksylo-2-benzotiazylsulfenamid). Funkcję aktywatora wulkanizacji pełniła biel cynkowa. Skład mieszanki EPDM opracowano wg założeń patentu PL 166296 B1 [16].

Mieszanki kauczukowe sporządzono za pomocą walcarki laboratoryjnej. Proces wulkanizacji prowadzono przez 10 min w prasie laboratoryjnej w temperaturze 150°C, pod naciskiem 5 MPa.

2.2. Metodyka

Zgodnie z normą PN-ISO 37:2007 określono właściwości mechaniczne otrzymanych wulkanizatów. Wytrzymałość na rozciąganie (T_{S_b}) i % wydłużenia przy zerwaniu (E_b) wyznaczono na maszynie wytrzymałościowej Instron (model 4206 – 006). Każda przedstawiona wartość jest średnią z siedmiu pomiarów.

Twardość wulkanizatów zbadano według normy ISO 7619-1:2010 z wykorzystaniem twardościomierza Shore'a typu A (Zwick GmbH).

Próbki wybranych wulkanizatów poddano badaniom odporności na długotrwałe działanie światła w komorze do przyspieszonych badań starzeniowych (Xenotest, Heraeus Holding GmbH). Naświetlano je w sposób ciągły, używając do tego celu ksenonowej lampy łukowej o mocy 1500W. Temperatura w komorze roboczej aparatu wynosiła $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, przy zastosowaniu naprzemiennego cyklu (15 min zraszania / 15 min przerwy) wilgotność ulegała wahaniom w zakresie $80\% \pm 5\%$. Jedna godzina eksperymentu w aparacie w takich warunkach odpowiada ok. 600 godz. w warunkach typowych dla klimatu umiarkowanego [22].

Określono wartości podstawowych parametrów istotnych dla materiałów elektroizolacyjnych. Używając mostka Scheringa (Tettex typ 2821/ZK) wyznaczono współczynniki strat dielektrycznych ($\text{tg}\delta$) oraz przenikalność dielektryczną względną (ϵ). Współczynniki wyznaczono dla materiałów przed i po wystawieniu na działanie narażeń długotrwałych. Pomiary rezystywności skrośnej wykonano zgodnie z normą PN-88/E-04405. Testy przeprowadzono za pomocą elektrometru 6517A (Keithley Instruments Inc.) przy przyłożonym napięciu pomiarowym 300V.

3. Wyniki badań i dyskusja

Zmieniając zawartość sadzy półaktywnej oraz zmiękczaczy: oleju parafinowego i chloroparafiny w stosunku do pozostałych składników, otrzymano układy o zróżnicowanych właściwościach mechanicznych. Właściwości mechaniczne badanych wulkanizatów kauczuku EPDM zestawiono w Tabeli 2. Analizując otrzymane wyniki, można zauważyć, że na wytrzymałość na rozciąganie wpływ ma zawartości oleju parafinowego i chloroparafiny

Tabela 1. Skład badanych mieszanek kauczukowych w odniesieniu do 100 części kauczuku (phr)

Table 1. Composition of the rubber compounds in parts per hundred rubber (phr)

Składniki mieszanki, phr	Oznaczenie próbki							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Kauczuk EPDM	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Sadza półaktywna	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0
Olej parafinowy	50	30	30	50	30	50	50	30
Chloroparfina 40%	30	40	30	40	40	30	40	30
Pozostałe składniki mieszanki kauczukowej	314,9	314,9	314,9	314,9	314,9	314,9	314,9	314,9

Tabela 2. Podstawowe właściwości mechaniczne wulkanizatów EPDM
Table 2. The basic mechanical properties of EPDM vulcanizates

Właściwości	Oznaczenie próbki							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Twardość, °Sh A	58	60	60	62	63	62	62	63
Wytrzymałość na rozciąganie (TS), MPa	3,290	3,800	4,210	3,200	4,190	3,850	3,600	4,300
Wydłużenie przy zerwaniu (E_b), %	1019	960	980	980	840	850	800	760

ny. Najwyższą wytrzymałość na rozciąganie (powyżej 4 MPa) wykazywały wulkanizaty, w których sumaryczny udział oleju parafinowego i chloroparafiny wynosił 60 phr. Stwierdzono wyraźny wpływ obecności sadzy półaktywnej na wydłużenie gumy przy zerwaniu. Wulkanizaty zawierające sadzę (P1–P4) charakteryzują się wydłużeniem przy zerwaniu przynajmniej o 100% większym niż wulkanizaty, które nie zawierają tego składnika (P5–P8). Nie odnotowano znaczącego wpływu składu mieszanki na twardość badanych wulkanizatów EPDM. Do przeprowadzenia testu przyspieszonego starzenia na radiację słoneczną wytypowano trzy wulkanizaty o najkorzystniejszych właściwościach mechanicznych, takich jak $E_b \geq 960\%$ i twardość $\geq 60^\circ\text{Sh A}$, oznaczone symbolami P2, P3 i P4.

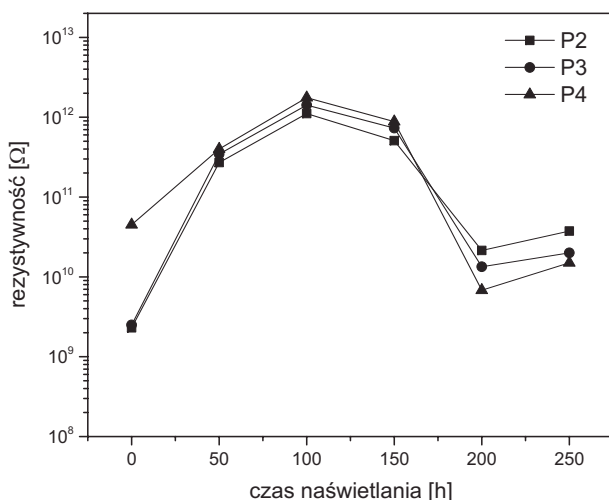
Analiza procesu starzenia pozwala na wyróżnienie dwóch etapów przemian zachodzących w strukturze polimerowych materiałów izolacyjnych: starzenie wstępne i starzenie istotne.

W pierwszym etapie następuje stabilizacja struktury molekularnej, która wiąże się z poprawą właściwości elektrycznych materiałów (wzrostem rezystywności, spadkiem stratności) oraz relaksacją naprężeń wewnętrznych [23]. Izolatory wystawione na dłuższy okres narażeń elektrycznych, termicznych i środowiskowych ulegają procesowi starzenia istotnego – degradacji ukła-

du charakteryzującej się pogorszeniem właściwości mechanicznych i elektrycznych.

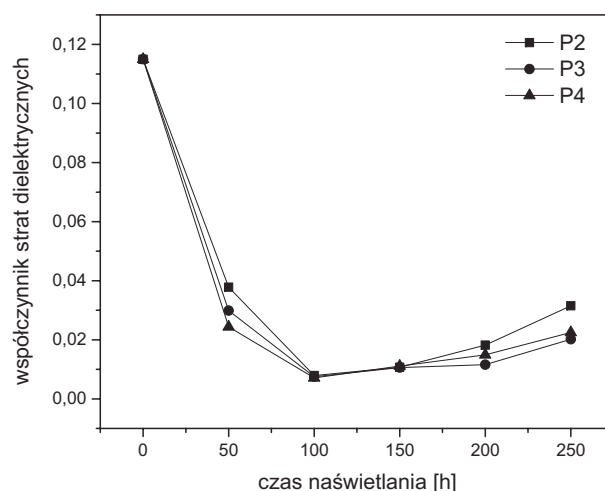
Długotrwałe narażenie na działanie światła z zakresu UV-vis pochodzącego z lampy ksenonowej nie pozostaje bez wpływu na właściwości elektryczne badanych wulkanizatów. Na Rysunku 1 przedstawiono charakter zmian rezystywności izolacji EPDM poddanej długotrwałemu naświetlaniu. Przed rozpoczęciem procesu starzenia najkorzystniejsze właściwości izolacyjne wykazywał wulkanizat oznaczony symbolem P4. Pierwszy i drugi cykl starzenia (odpowiednio 50 i 100 h w komorze Xenotestu) powodował wzrost rezystywności wszystkich badanych układów. Dalsze naświetlanie powoduje spadek rezystywności do wartości zbliżonych do wyjściowych, a następnie ich stabilizację.

Zaobserwowano duże zmiany we właściwościach dielektrycznych badanych izolacji zachodzące pod wpływem starzenia. Początkowe cykle spowodowały znaczną poprawę właściwości izolacyjnych badanych materiałów. Po 50 h naświetlania zanotowano obniżenie wartości współczynnika strat dielektrycznych ($\text{tg}\delta$) o rząd wielkości (Rys. 2). Najniższą wartość współczynnika strat dielektrycznych obserwuje się po 100 h ekspozycji. Następne cykle starzeniowe powodują niewielki wzrost $\text{tg}\delta$. Podobną tendencję spadkową po dwóch pierwszych okresach starzenia wykazuje przenikalność dielektryczna (ϵ) badanych układów EPDM (Rys. 3). Analogicznie



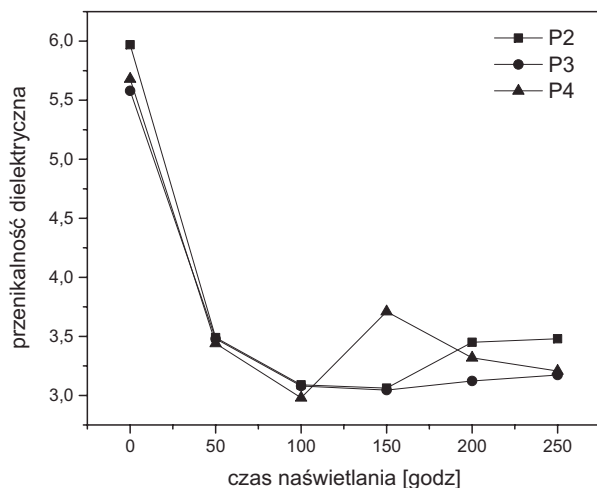
Rys. 1. Zależność rezystywności skrośnej (ρ_v) od czasu starzenia

Fig. 1. Effect of exposure time on volume resistivity (ρ_v) of EPDM rubber



Rys. 2. Zależność współczynnika strat dielektrycznych ($\text{tg}\delta$) od czasu starzenia

Fig. 2. Effect of exposure time on loss angle ($\text{tg}\delta$) of EPDM rubber



Rys. 3. Zależność przenikalności dielektrycznej względnej (ϵ) od czasu starzenia

Fig. 3. Effect of exposure time on relative permittivity (ϵ) of EPDM rubber

jak $\tan \delta$, po 100 h ekspozycji na promieniowanie słoneczne przenikalność dielektryczna badanego układu ulega stabilizacji, a w następnych cyklach starzeniowych nieznacznie rośnie.

Przedstawione zmiany we właściwościach dielektrycznych zachodzące na skutek długotrwałych narażeń mogą sugerować zachodzenie zmian w strukturze układów izolacyjnych. Po zakończeniu procesów utwardzania stan termodynamiczny układu nie jest stabilny i może ulegać dalszym zmianom, nawet w niskich temperaturach [23]. Procesy te są związane z tzw. kondycjonowaniem izolacji, polegającej na zmniejszeniu wolnych przestrzeni, redukcji wewnętrznych naprężeń mechanicznych. Zmniejszenie ruchliwości molekularnej ogranicza migrację jonów i procesy polaryzacyjne, co z kolei przekłada się na zmniejszenie przewodnictwa, współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności dielektrycznej układu [23, 24]. Szybki wzrost rezystywności elektrycznej, szczególnie po pierwszych cyklach naświetlania, może być również spowodowany dowulkanizowaniem badanych układów w warunkach prowadzenia testu.

Badane właściwości elektryczne w czasie naświetlania do ok. 200 h wskazują na przebieg charakterystyczny dla etapu starzenia wstępnego, w którym następuje stabilizacja właściwości układu izolacyjnego. Korzystne jest zastosowanie polarnego plastyfikatora (chloroparafiny), który stopniowo uwalnia się pod wpływem działającego światła i tworzy fizyczną powłokę antyozonową. Jest to efekt pożądany dla tego typu zastosowania – na izolatory trakcyjne do sieci kolejowych i tramwajowych.

4. Podsumowanie

W zależności od zastosowanego kauczuku EPDM i wprowadzonych do niego w procesie przetwórczym dodatków otrzymuje się materiały o różnych właściwo-

ciach. Zróżnicowane środowisko pracy detali z kauczuku EPDM obliguje do wybrania mieszanki odpowiedniej do danego zastosowania.

Zmieniając zawartość sadzy półaktywnej oraz zmiękczaczy: oleju parafinowego i chloroparafiny w stosunku do pozostałych składników, otrzymano 8 wulkanizatów o zróżnicowanych właściwościach mechanicznych. Trzy mieszanki o najkorzystniejszych właściwościach wystawiono na długotrwałe działanie światła w komorze aparatu do przyspieszonych badań starzeniowych. Po każdym cyklu badano właściwości elektryczne układów. W badanym zakresie wszystkie wulkanizaty wykazywały podobne właściwości dielektryczne. Gwałtowne zmiany rezystywności, współczynnika strat dielektrycznych i przenikalności dielektrycznej po pierwszych cyklach starzenia wiążą się z porządkowaniem wewnętrznej struktury (morfologii) układu. Kontynuacja starzenia skutkuje stabilizacją wartości wszystkich badanych parametrów. Przeprowadzone testy pozwalają stwierdzić, że izolacje tego typu mogą być używane przez bardzo długi czas, w ciężkich warunkach środowiskowych, bez utraty właściwości elektrycznych.

W niniejszym artykule przedstawiono właściwości mechaniczne badanych wulkanizatów przed działaniem narażeń długotrwałych. Dalsze prace nad zastosowaniem tego typu układów w przemyśle elektroizolacyjnym powinny również obejmować analizę zmian właściwości mechanicznych po procesie starzenia.

Literatura

1. Ciullo P. A., Hewitt N. „The rubber formulary”, 13–14, Noyes Publications, Norwich, N.Y. 1999.
2. Morton M. „Rubber technology”, 260–280, Van Nostrand Reinhold, New York 1987.
3. Gabrielle B., Lorthioir C., Laupretre F., J. Phys. Chem. B, 2011, **115**, 12392–12400.
4. Nachman M., Kwiatkowski K., Rośliniec Z., Elastomery 2013, **17**, 1, 6–10.
5. Wang D.-Y., Das A., Leuteritz A., Mahaling R. N., Jehnichen D., Wagenknecht U., Heinrich G., RSC Adv., 2012, **2**, 3927.
6. Canaud C., Visconte L. L. Y., Sens M. A., Nunes R. C. R., Polym. Degrad. Stabil. 2000, **70**, 259–262.
7. Li P., Yin L., Song G., Sun J., Wang L., Wang H., Appl Clay Sci. 2008, **40**, 38–44;
8. Zhao Q., Li X., Ye Z., JFAP, 2011, **11**, 282–285.
9. Zhao Q., Li X., Gao J., Polym. Degrad. Stabil. 2008, **93**, 692–699.
10. Zhao Q., Li X., Gao J., Polym. Degrad. Stabil. 2007, **92**, 1841–1846.
11. Boguski J., Przybytniak G., PTJ 2012, **58**, 7–14.
12. Du L., Xu G., Zhang Y., Qian J., Chen J., Polym-Plast. Technol. 2011, **50**, 372–378.
13. Sommer J. G. „Engineered rubber products”, 74–75, Hanser, Munich 2009.
14. Ahmadi S. J., Huang Y.-D., Ren N., Mohaddespour A., Ahmadi-Brooghani S. Y., Compos. Sci. Techn. 2009, **69**, 997–1003.

15. Özdemir T., *Radiat. Phys. Chem.* 2008, 77, 787–793.
16. Pat. PL 166296B1 (1992).
17. Cui T., Chao Y., Zee J. V., *Int. J. Hydrogn. Energ.* 2012, 37, 13478–13483.
18. Tan J., Chao Y. J., Wang H., Gong J., Van Zee J. W., *Polym. Degrad. Stabil.* 2009, 94, 2072–2078.
19. Rzymiski W. M., Radusch H. J., *Polimery* 2002, 47, 229–233.
20. De S. K., White J. R. „*Rubber technologist's handbook*”, 108-110, Rapra Technology Ltd., Shawbury, England 2001.
21. Martin G., Barres C., Sonntag P., Garois N., Cassagnau P., *Eur. Polym. J.*, 2009, 45, 3257–3268.
22. Matejun M., Gradzki R. „*Rozwój zrównoważony – zarządzanie innowacjami ekologicznymi*”, 109, Wydawnictwo Media Press, Łódź 2009.
23. Subocz J. „*Przewodnictwo i relaksacja dielektryczna warstwowych układów izolacyjnych*”, 34–36, Wydaw. Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin 2012.
24. Zenker M., Subocz J., *Przegląd Elektrotechniczny* 2014, 90, 94–97.



**Instytut Inżynierii
Materiałów Polimerowych i Barwników
ODDZIAŁ ELASTOMERÓW I TECHNOLOGII GUMY**

05-820 Piastów, ul. Harcerska 30
tel. (22) 723-60-25, fax: (22) 723-71-96
www.impib.pl



Akredytowane przez PCA

LABORATORIUM BADAWCZE „Labgum”

Certyfikat Akredytacji PCA Nr AB 147

w zakresie badań fizykochemicznych i mechanicznych gumy i wyrobów gumowych

Laboratorium jest wyspecjalizowane w badaniach wyrobów gumowych, m.in. różnego rodzaju elementów, uszczelnień, granulatu gumowego oraz surowców i mieszanek przeznaczonych do ich produkcji. Posiada nowoczesną aparaturę badawczą, ma wdrożony system jakości zgodny z wymaganiami PN-EN ISO/IEC 17025:2005 i akredytację od 1998 r.

LABORATORIUM WYKONUJE BADANIA

według aktualnych norm krajowych, zagranicznych, UE i międzynarodowych ISO oraz procedur własnych

Kierownik Laboratorium i Kierownik Zespołu Badania Właściwości Chemicznych:
dr inż. Małgorzata Piaskiewicz, tel. wew. 161, m.piaskiewicz@ipgum.pl, m.piaskiewicz@impib.pl
Z-ca Kierownika Laboratorium i Kierownik Zespołu Badania Właściwości Fizycznych:
mgr inż. Michał Lewandowski: tel. wew. 182, m.lewandowski@ipgum.pl, m.lewandowski@impib.pl